

S Z E M L E

Korszerű nézetek a foszfor szerepéről a talajban és a növények foszforral való ellátása terén*

A nagyobb termések elérésének nemcsak hazánkban, hanem az egész földkerekségén is gyakran szab határt az a körülmény, hogy a növény nem jut elég foszforhoz, ellátottsága foszforral nem kielégítő, s a talaj foszfortrágyázásra szorul. Ez a körülmény az agrokémikusok figyelmét már régebben a foszforkérdésre irányította.

Foszfor minden termőföldben van, mennyisége azonban — egyes talajtípusoktól eltekintve — rendszerint kicsiny, s csak kis termések létrehozására elegendő. Amíg a Föld lakossága, a maihoz viszonyítva gyér volt s a lakosság legnagyobb része gazdálkodásból élt, ez a körülmény nem bírt fontossággal. De amint a lakosság gyarapodott s mind többen a városokban kerestek megélhetést, felmerült a nagyobb termések szükségessége s kiderült, hogy a nagyobb termés eléréséhez hiányzott a talajból a szükséges foszfor. Felmerült a foszforkérdés, s a foszforkérdés azóta is napirenden van. A foszforkérdés sokoldalú, s egyes vonatkozásaival több mint száz éve foglalkoznak az agrokémikusok.

Mi a szerepe a foszfornak a növény életében, hogyan jut a növény a szükséges foszforhoz, milyen alakban van a foszfor a talajban, mivel pótolhatjuk a hiányzó foszfort, mi történik a talajba adott foszfortartalmú anyagokkal, szervetlen és szerves trágyákkal, ezek a főbb kérdések, amelyekre a kutatók légiója igyekezett feleletet adni. Munkájuk a foszforkérdés számos vonatkozását világította meg, s igen hasznos útmutatást adott a növénytermesztésnek. A munka mindenkor lépést tartott a természettudományok fejlődésével, s amikor már egyes kérdések megoldottnak látszottak, a természettudományokban bekövetkezett haladás új szempontokra hívta fel a kutatók figyelmét; más látószögből nézve a kérdéseket — s gyakran új módszerek alkalmazásával — új eredmények láttak napvilágot. A haladás útja azonban egyenetlen, a gyors haladás szakát sokszor váltja fel a dűcögés ideje. Az egyes kérdések megoldása sem halad párhuzamosan, hol az egyik, hol a másik előzi meg egymást. A haladás azonban folytonos, ha menete különböz is.

A foszforkérdés terén e század első harmadának munkásságát tekinthetjük olyanoknak, amelyek során a mai nézetek messzemenően kialakultak, az utána következő idő inkább egyes részletek megoldása terén vezetett jelentős eredményekhez. Ismereteink sok új adattal gyarapodtak, ezeknek áttekintése nem könnyű, de elengedhetetlen annak, aki a kutatás fonalát tovább kívánja fűzni, avagy a kutatás eredményeit a gyakorlatba akarja átvinni.

Az áttekintést lényegesen megkönnyítik a foszforkérdés irodalmát időről időre összefoglaló tanulmányok. Egy ilyen tanulmány jelent meg folyóiratunkban, az Agrokémia és Talajtan 1953-ik évfolyamában Finály [17] kartársunk tollából „Szerves és szervetlen kötött foszforfrakciók a talajban” címmel. Ebben 217, az utóbbi 30 esztendőben megjelent dolgozat összefoglalóját adja.

Ez a cikk mintegy folytatása ennek a kitűnő összefoglalónak. Benne az utóbbi 5 év alatt néhány korábban megjelent dolgozatról emlékezem meg, ezek egyrészt a növények foszforral való ellátásának kérdésével foglalkoznak, másrészt a talaj foszforvegyületeinek természetére s a talajban végbemenő reakciókra vonatkoznak, amelyek a talajba juttatott foszfor további sorsát megszabják.

Összefoglalómban a világirodalomban angol, francia és német nyelven megjelent tanulmányokra kellett szorítkoznom; ezeket sem vehetem mind figyelembe, egy részüknek számomra való hozzáférhetetlensége miatt, de úgy vélem, hogy jelentősebb dolgozatok nem maradtak ki az összefoglalóból. Nem terjeszkedtem ki a gazdag szovjet irodalom termékeinek ismertetésére, mert nyelvi nehézségek miatt nem volt módomban ezeket kellő mértékben áttanulmányozni. Fiatal kartársaimra, akiknek módjukban volt azokat a Szovjetunióban tanulmányozniok, vár a feladat, hogy kitöltsék a hiányt. Nem szölok a magyar nyelven megjelent dolgozatokról sem, bár figyelemreméltó közléseket tartalmaznak; ezek mindenki részére hozzáférhetők.

* Az Agrokémiai Kutató Intézetben 1956. február 10-én tartott előadás szövege.

A foszfor felvétele a talajból a növény által

A növény a foszfort főképpen az ortofoszforsav egyik ionja, éspedig a növényfiziológusok szerint az egyvegyértékű H_2PO_4 ion alakjában veszi fel. A talajoldat foszfátion tartalma mindig kicsiny, erre már a múlt század közepén rámutatott Schloesing [45], aki egy szellemes eljárás segítségével kiszorította a talajból az eredeti talajoldatot s azt megcselezve benne literenként $\frac{1}{2}$ –2 mg foszfátgyököt talált csupán. Az utóbbi érték egy hektár feltalajra, 3500 kg-ra átszámítva 15% nedvesség mellett kevesebb 1 kg-nál, vagyis olyan kis mennyiség, melynek a növény táplálásában jelentősége nem lenne, ha nem újulna meg. Viszont ez a töménység, amint azt Schloesing kimutatta, teljesen elegendő, ha a táplálóoldat állandóan megújul. Arra is rámutatott Schloesing, hogy a foszfát mennyisége a talajoldatban nem változott lényegesen, ha a nedvességtartalmat tág határok közt, kísérleteiben egytől százig terjedő arányban, megváltoztatta. A talajoldatban oldott foszfát a talaj szilárd részeihez kötött foszfáttal egyensúlyban van, s az egyensúly hamar bekövetkezett akkor, ha a talajt ismételtén újabb és újabb vízmennyiségekkel hozta össze.

Későbbi vizsgálatok igazolták Schloesing megállapításainak helyes voltát; igazolták, hogy a talajoldat foszfátion tartalma mindig kicsiny, de azért ritkán kevesebb 0,05 mg-nál literenként és ritkán több 10 mg-nál literenként. Állandóan megújított vizes kultúrákban végzett növénytermesztési kísérletek pedig igazolták azt, hogy a növények rendkívül híg tápoldatból is képesek foszfor szükségletüket fedezni. Így Hoagland és Martin [25] szerint 0,7 mg pro liter foszfát elegendő volt az árpa jó fejlődéséhez: Parker és Pierre [41] kísérleteiben a kukorica legnagyobb növekedése 0,1 mg pro liter töménységű tápoldatban volt észlelhető és Tidmore [47] kísérleteiben kukorica, cirok és paradicsom esetében 0,5 mg pro liternél. Azonban, bár a kísérletek kimutatták, hogy igen kicsi foszfátkoncentrációk elegendőek a növény jó tenyésztéséhez, még sem fogadták el általánosan azt a nézetet, hogy a talajoldat az egyetlen foszfátforrása a növénynek. Többben rámutattak arra, hogy kísérleteikben a talajból kiszorított talajnedvesség foszfátion-tartalma kevesebb volt, mint a táplálóoldat töménysége, mely vizes kultúrában szükséges volt a növény foszfáttal való ellátására. Feltételezték ezért, hogy a talajban a foszfát-felvételnek más módja is végbemegy a talaj szilárd részével közvetlenül érintkező gyökerek útján.

Ebben a folyamatban nagy jelentőséget tulajdonítanak az anioncserének. Több kutató mutatta ki, hogy a talaj által megkötött foszfátionok kicserélhetők egyes anionokkal, mint hidroxil-, fluor-, arsenát- és szilikátionokkal. Az anioncserének egyik módja a talaj szilárd és folyékony fázisa között végbemenő foszfátcserének.

A „kontaktesere elmélet” Jenny és társai [26] munkáihoz fűződik, akik azt találták, hogy vizes oldatban tenyésztett árpagyökerek, melyeknek adszorbeált Na, K vagy Rb-ot tartalmazó agyag- vagy talajszuszpenziót adtak a szokásos vízben oldható sók helyett többet vettek fel az egyes ionokból, mint a megfelelő vizes oldatból. A foszfátion viselkedésére vonatkozó vizsgálatok azonban nem bizonyították azt a feltevést, hogy az agyaghoz kötött foszfátion az oldott foszfátnál jobb foszfátforrása a növénynek. McAuliffe [37] és társai sugárzó foszforizotoppal jelölt foszfáttal vizsgálták a PO_4 - és a OH-ionok kicserélési egyensúlyát a talaj felszíne és a talajoldat közt. Azt találták, hogy a kicserélhető foszfát-anionoknak csak kis része cserélődött ki gyorsan és jutott egyensúlyba a talaj foszfátionjaival. Ezzel ellentétben a talaj ásványos részeihez kötött kationok nagyon mozgékonyak és a folyékony fázis kationjaival az egyensúlyi helyzet gyorsan áll be. A talajban végbemenő kation- és anioncserének tehát lényeges különbség van, s a kationcserének jelentőségével ellentétben az anioncserének jelentősége kisebbnek tűnik fel.

Ezzel azonban még nincs eldöntve az a kérdés, hogy a talaj részecskéivel érintkező gyökér nem fejt-e ki oldóhatást s ez viszont fokozza a PO_4 felvételt. Az érintkezési hatás mellett szólnak a bázisos kalciumfoszfátok felhasználására végzett megfigyelések, különösen az a körülmény, hogy az ásványi foszfátokat a növények igen különböző mértékben hasznosítják. Így már régen megfigyelték, hogy jól értékesítik az ásványi foszfátokat a csillagfűrt, a pohánka, a somkóró, a mustár, az árticsóka, a búkköny, kevésbé a lucerna, a borsó, a repec és a káposzta. Nagyon gyengén képesek felhasználni az ásványi foszfátokat a gyapot, a tehénborsó, a komlós lucerna, a zab, a rizs, az árpa, a köles, a rozs és a búza. A korábbi kísérletek azonban nem tették lehetővé annak a megállapítását, hogy a növények eltérő viselkedése a gyökérrendszer felszínének nagyságával vagy a gyökérrendszer sajátos tulajdonságaival függ-e össze.

Legutóbb Beltsville-ben Dean és Fried [13] végzett kísérleteket, hogy eldöntse a kérdést. Különböző talajok PO_4 készletét megjelölték úgy, hogy P^{32} -t tartalmazó szuperfoszfátot adtak hozzá, majd ásványi foszfátot keverték a talajhoz. A talajon különböző növényfajokat termesztettek edényekben. Miután ilyen körülmények közt a talaj foszfátja és az ásványos foszfát egyaránt hozzáférhető volt a gyökérrendszer számára, minden különbség a növények sajátlagos viselkedésében a gyökérrendszer tulajdonságaival függött össze és nem a gyökérrendszer kiterjedésével. A kísérletek azt mutatták, hogy ilyen különbségek vannak, s az egyes fajok viszonylagos foszfátfelvétel képessége az irodalomból már régebben ismert megállapításokhoz hasonló volt.

Egyes szerzők a talaj apróléncyainak tulajdonítanak közvetítő szerepet a bázisos foszfátok feltárásánál. Gerretsen [20] amerikai és Piko v s z k a j a [42] szovjet kutatók a növények foszfátfelvételét tanulmányozták steril és nem steril tenyészetekben s azt találták, hogy a bázisos kalciumfoszfátokból a növény több foszfátot vett fel mikrobák jelenlétében. Dalton és társai [11] annak a feltevésnek adtak kifejezést, hogy a talaj apróléncyai szerves savakat hoznak létre, a savak vassal és alumíniummal komplex ionokat képeznek s ezek a talaj foszfátjának a növények által való fokozott felhasználását teszik lehetővé. Valószínű az is, hogy a gyökerek kiválasztásai hasonló módon befolyásolják a foszfátfelvételt folyamatait.

De az a kérdés, hogy a foszfátfelvételt kizárólag a talajoldatban levő foszfátionokból történik-e, vagy közrejátsszik-e s milyen mértékben a talajrészecskéikkel közvetlenül érintkező gyökér tevénysége, még nincs eldöntve s további vizsgálatok folynak a kérdés tisztázására.

Bingham [3] vizsgálatai újabb bizonyítékot szolgáltatott annak a tételnek az igazolására, hogy a természetes körülmények közt talajon termesztett növények foszfátforrását a talajoldatban levő foszfátionok képezik. Bingham a talaj vízben oldható foszfát tartalmának korrelációját vizsgálta ezeknek az oldatoknak tápanyagszolgáltató képességével edénykísérletben római salátával és árpával, mint jelző növényekkel. A nyert adatokat összehasonlította ugyanezeknek a talajoknak viselkedésével foszfátrágyázással szemben szabadföldön és a jelző növények növekedésével folyó tápoldatokban, melyek foszfátkoncentrációja állandó volt. Bingham adatai különösen széles sorozatot foglalnak magukba s alkalmat nyújtanak a talaj vízben oldható foszfát tartalma jelentőségének vizsgálatára különböző, egymástól független próba segítségével, u. m. kémiai összetétel, edénykísérlet, szabadföldi kísérlet és tápoldat-tenyészet.

Bingham vizes egyensúlyi talajkivonatot (1:10) használt a talaj foszfát állapotának próbájául. Ezt a próbát 300 kaliforniai talajra alkalmazta, amelyeket azután edénykísérletre használt fel római salátával, s azt találta, hogy azok a talajok, amelyek vizes kivonata 1 mg pro liter foszfátnál többet tartalmazott, kivétel nélkül nagy viszonylagos termést adtak edényben és szabadföldön egyaránt s foszfátrágyázásra nem reagáltak.

Bingham vízben oldható foszfát próbáját használta Martin és Buchanan 1950-ben Kaliforniában 159 talajon, mint eszközt kalászosoknak foszfátrágyázásra való viselkedésének előrejelzésére. Mindama talajok, melyek 0,3 mg pro liternél kisebb próbát adtak 95%-ban kedvezően választottak foszfátrágyázásra; 0,4 mg pro liternél nagyobb próba esetén a növények 95%-a nem adott nagyobb termést foszfátrágyázásra.

Bingham kísérletei újabb bizonyítékot szolgáltatottak ama nézet mellett, hogy a talajoldat, dacára annak, hogy benne a foszfátionok koncentrációja kicsiny, a növény foszfátszükségletét ellátni képes. Ehhez persze szükséges, hogy a foszfátion koncentrációjának szintje egy bizonyos érték alá ne csökkenjen; a növények által felvett foszfátionok helyébe újabb foszfátionoknak kell oldatba jutniuk a talaj foszfátkészleteiből. A szükséges foszfátionok a talaj szilárd fázisából kerülnek a talajoldatba.

A talaj szilárd fázisa és a talajoldat foszfátionjai közt egyensúlyi helyzet van. Wiklander [53] „A talajban végbemenő foszfátcsere kinetikája” című dolgozatában rámutatott arra, hogy a talaj felszínéhez kötött foszfátionok kicserélhetők és kicserélődnek a talajoldat foszfátionjaival. Hasonló eredményre jutott Barbier és Tyskievitz [1] sugárzó foszfor-izotópot tartalmazó foszfáttal végzett kísérleteiben. Overhurst és Dean [40] pedig kimutatta, hogy a gyökerek felszínéről is vándorolnak foszfátionok az agyagos felszín felé.

A foszforfelvétel kérdésével kapcsolatosan felmerült az a kérdés, hogy a növények a talaj foszforkészletét és a műtrágyákkal a talajhoz adott foszfátot milyen arányban használják fel. Fried és Dean [18], továbbá Larsen [33] ama nézetnek adtak kifejezést kísérleteik alapján, hogy a sugárzó foszforizotóppal megjelölt foszfátrágyákkal trágyázott talajokon termett növények rádiokémiai elemzésének adataiból ki lehet számítani a talaj foszfátkészletét.

A talaj foszfátvegyületei

A talajban levő foszfátformák vizsgálata is több dolgozat tárgyát képezte az elmúlt 5 esztendőben.

A foszfátgyök a talajban többféle vegyületben fordul elő. Ezeket Russell [43] az alábbi 4 csoportba sorolja:

1. Szervetlen ásványok, melyek a PO_4 gyököt szerkezetükbe beépítve tartalmazzák. Legelterjedtebbek az apatitok, általános képletük: $Ca_{10}(PO_4)_6 \cdot X_2$ ahol $X = F, Cl, CO_3$ és OH lehet. De bizonyos körülmények közt vas- és alumíniumfoszfátok is előfordulnak.

2. Oldhatatlan kalciumfoszfátok. Ilyen vegyületek keletkeznek, ha a talajhoz oldható foszfátokat adunk. Még nem tudjuk biztosan milyen összetételű vegyületek ezek. A dikalciumhidrofoszfát előfordulása biztosra vehető, s ugyancsak bizonyosnak vehető, hogy trikálciumfoszfát nem fordul elő a talajban.

3. A hidratált vas- és alumíniumoxidok felszínén megkötött foszfátok. Ez a csoport nem határolható el élesen a Fe- és Al-foszfát ásványoktól, mert bizonyos körülmények közt ezek a komplexusok valószínűleg kikristályosodnak s új ásványokat képeznek. A foszfátgyök az agyagrészecskék felszínén más módon is meg lehet kötni.

4. Szerves anyaghoz kötött foszfát, mint fitin és inositolfoszfátok, nukleinsav és származékai és egyéb PO_4 -tartalmú vegyületek a humuszos anyagban, a részben elbomlott növényi szövetekben és az élő gyökerek szöveteiben, valamint a talaj apró szervezeteiben.

A felsorolt szervetlen foszfátok közül csak a talajokban apró kristályok alakjában előforduló *fluorapatit* tekinthető a talaj eredeti alkotórészének. A fluorapatit apró kristályai minden eruptívus kőzetben megtalálhatók, s a kőzetek elmállásakor a talajképző kőzetbe kerülnek. Ott a talajnedvesség hatására elmállanak, a talajnedvességben feloldódnak, ekkor a szerkezetükbe beépített foszfátgyökök felszabadulnak, oldatba jutnak, s a talajoldatban levő Ca -ionokkal, esetleg vas-, alumínium- és mangánionokkal új vegyületeket képeznek. Ezek a talaj másodlagos ásványai; ilyenek keletkeznek akkor is, ha a talajba bármilyen más oknál fogva, p. o. foszfáttrágyázásra, vagy a szerves anyag elbomlásánál foszfátionok kerülnek.

A kalciummal többé-kevésbé telített talajokban és a meszes talajokban a *kalcium foszfátjai* játszanak nagy szerepet. A talaj kalcium foszfátjainak kémiai még számos megoldandó kérdést tartogat a kémikus számára. A kicsapódó kalciumfoszfátok vízben hidrolízist szenvednek s az egyensúlyi helyzet rendkívül lassan áll be. Az egyetlen ismert kalciumfoszfát, amelyet a víz nem bont el, a *hidroxiapatit* $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Ebben a vegyületben a $\text{CaO} : \text{P}_2\text{O}_5$ viszony 3,3, a $\text{P}_2\text{O}_5 : \text{CaO}$ viszony pedig 0,76. Az olyan szilárd kalciumfoszfáttestek, amelyekben a foszfor és kalcium viszonya nagyobb ennél az értéknél, kalciumban dúsulnak, ha vízzel kezeljük őket, míg ha az arány kisebb, foszforban gazdagodnak. Az egyetlen vizes oldat, amelyik P_2O_5 -öt és CaO -t ugyanolyan mértékben tartalmaz, mint a vele egyensúlyban levő szilárd fázis a *hidroxiapatit* összetételének felel meg. Az elmondott okoknál fogva a *hidroxiapatitot*, ezt a rendkívül kevésbé oldható anyagot tekinthetjük a talajban a kalcium- és foszfátionok közt végbemenő reakciók végső termékének. E reakciókban azonban az egyensúly rendkívül lassan következik be, közbenső termékek keletkeznek. Így *Bjerrum* [4] vizsgálatai szerint a Ca - és PO_4 -ionok komplex ionokat is alkothatnak, ilyen p. o. a $\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2$ -ion, amely majdnem olyan erős sav, mint a HPO_4 -ion, s jóval savasabb, mint a HPO_4 -ion. De ezek az ionok tovább hidrolizálódnak, s a Ca - és PO_4 -ionok reakciójának végső terméke az említett *hidroxiapatit*.

A kalciumfoszfátok fontos tulajdonsága fajlagos felszínük. *Hall* [23] szerint a laboratóriumban előállított kalciumfoszfát készítmények, azonos kalcium és foszfát arány mellett is, igen különböző fajlagos felszínnel bírnak. Fajlagos felszínük 4 m^2 -től 150 m^2 -ig változott grammonként. Az egyforma összetételű kalciumfoszfát csapadékok részecskéinek ez a nagy különbözősége eltéréseket okozhat eme foszfátok oldhatóságában.

Mattson és társai [36] véleménye szerint a kalciumfoszfátok mint amfoter kolloidok viselkednek és aktív felszíni rétegük van, oldhatóságuk szorosan összefügg ezzel a körüleménnyel. A felszíni réteg összetétele pedig az ionos környezettől függ. Kis pH értékeknél a foszfát oldhatósága sóoldatokban nagyobb, mint vízben. A vízben való oldhatóság legkisebb pH 7-nél, ez az érték a tanulmányozott kalciumfoszfát izoelektromos pontjának felel meg. Az izoelektromos ponton túl levő lúgos reakciónál a vízben való oldhatóság nagyobb, mint a sóoldatokban.

Mattson vizsgálatai eredményeit a *Donnan-féle* eloszlással magyarázza az oldat és a kalciumfoszfát kristályok aktív felszíne közt. Az alkalikus oldatban, ahol a komplexus egy kationatmoszférát alkot, a vízben való oldhatóság ténylegesen növekszik hig NaOH oldatban a *Donnan-eloszlás* eredményeképp, mely szerint a $[\text{HPO}_4]$ kívül $> [\text{HPO}_4^-]$ bévül. Ezt a megoszlást a neutrális sók megszüntetik, ami kisebb foszfátoldhatóságot okoz. Az izoelektromos pont savas oldalán az ionatmoszférákban az anionok vannak túlsúlyban, a só hatása anioncserében és az aktivitási koeficiens csökkenésében nyilvánul meg, mindkettő pedig nagyobb foszfátoldhatóságot okoz. *Mattson* kísérleteiben a CaCl_2 minden töménységben és minden pH-értéknél csökkentette a foszfát oldhatóságát, ami arra vall, hogy ilyenkor a foszfát kicsapása volt az uralkodó reakció.

A talaj kémizmusában nagy szerepet játszanak azok a reakciók, amelyek a talajoldatba kerülő foszfátionok és a talaj szilárd fázisában levő CaCO_3 közt mennek végbe. Ezeket újabban *Boischo*t és társai [6] tanulmányozták.

*Boischo*t, *Coppenet* és *Hébert* [6] kísérleteikből arra az eredményre jutnak, hogy a talajban a kis töménységű foszfátoldatok a talaj kalciumkarbonát részecskéire adszorpciós folyamat révén csapódnak ki. Az így megkötött foszfát az ellentétes folyamat-deszorpció révén újból az oldatba juthat, ha a talajoldat foszfát-töménysége kisebb lesz. Ha a talajba foszfátműtrágyát adunk, a PO_4 koncentráció a műtrágyaszemcsék körül elég nagy lehet, hogy körülöttük kocsónyás állapotú foszfátok csapódjanak ki. De ezek a csapadékok is, legalább részben, szintén feloldódnak a talajoldatban és a mészzemcséken adszorpció útján megkötődnek.

Hasonló vizsgálatokról számol be *Olsen* [38]. Eredményei megerősítik *Boischo*t követetéseit. Híg dikáliumhidrofoszfát oldatot használva, a foszfátot a CaCO_3 részecskék felszínükön adszorbeálták mindaddig, amíg a foszfát koncentrációja 2×10^{-4} mol-ig nem emelkedett. Az adatok megfelelnek a *Langmuir-féle* adszorpciós izotermának. Ezt erős bizonyítéknak tekinthetjük, hogy egyréteggű adszorpció ment végbe. Amikor a foszfát koncentrációja nagyobb volt 2×10^{-4} mol-nál a foszfát ki-

csapódása következett be, s az egyensúlyban levő foszfátkoncentráció kisebb volt, mint közvetlenül a kicsapódás megkezdődése előtt.

Ezek a vizsgálatok érdekes betekintést engednek meg a CaCO_3 részecskéik és az oldható foszfátok közt végbemenő reakciók természetébe, s bizonyítékot szolgáltatnak a mellett, hogy a CaCO_3 és az oldható foszfátok közt végbemenő reakció nem vezet egy meghatározott összetételű vegyület képződéséhez. Híg oldatokban az adszorpciós folyamat uralkodik, kissé nagyobb koncentráció mellett eddig még nem ismert összetételű s valószínűleg nagy fajlagos felülettel bíró csapadék keletkezik. Mint figyelemreméltó körülményt említhetjük meg, hogy Olsen [39] analógiákat lát a meszes talajokban a kalciumkarbonát és a foszfát közt végbemenő reakciók és a csontokban és csontzománcban végbemenő hasonló reakciók közt.

Az utóbbi években több vizsgálatot végeztek azoknak a körülményeknek a megállapítására, amelyek közt a talajoldat ionjai új foszfát-ásványokat adnak. Haseman és társai [24] különböző ásványokat, ún. götített, gibbsitot, illitet, kaolinitet és montmerillonitot foszfátoldatokkal és különböző bázisokkal kezeltek, s optikai és más vizsgálati módszerekkel palmerit-szerű foszfátásványok kristályait sikerült kimutatniok. Képletük $[(\text{H}, \text{K}, \text{Na}, \text{H}_4)\text{N}]_3(\text{Al}, \text{Fe})\text{PO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. A vas és az alumínium erősen változó arányokban lehetnek jelen. Ha az oldatban nem volt $(\text{H}, \text{K}, \text{Na}, \text{H}_4\text{N})$ akkor egy variscit — barrandit — strengitből álló izomorf sorozat volt kimutatható: $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — $(\text{Al}, \text{Fe})\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{PO}_4$. Egy másik dolgozatukban Haseman és társai további kísérleteikről számolnak be. Ezek szerint a talajban fennálló viszonyokhoz hasonló körülmények közt tarnakit — $2(\text{K}_2\text{O}, \text{H}_4\text{N})_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 26\text{H}_2\text{O}$ — és 3 más hasonló ásványcsoportba tartozó ásvány keletkezett. Valamennyi kiterjedt izomorf helyettesítést enged meg, ami úgy szólván határtalan lehetőséget nyújt az oldhatóság és egyéb tulajdonságok tekintetében.

Cole és Jackson-nak [8] (1952) szintén sikerült Röntgen-sugár diffrakciós vizsgálatokkal azonosítania a variscit-barrandit-strengit izomorf sorozathoz tartozó ásványokat, melyeket laboratóriumban állítottak elő. Cole és Jackson szerint: „A variscit-sorozat ásványainak kicsapódása a talajban egy új szilárd fázis kristályai alakjában történik s ezért kicsapódásuk különbözik az adszorpciótól. De ezek, a kristályok az alumínium és vas forrásul szolgáló talajásványokkal benső asszociációkat alkothatnak, amelyek képződése — bár nem szükségszerűen —, kezdetben egy rétegben, kemisorpció útján megkötött PO_4 -ionok útján indul meg”. Haseman is azon a véleményen van, hogy a kicsapódás elkülönült kristálykák alakjában történik, s azt írja: „Bizonyos körülmények közt a foszfát megkötése a talajban helyettesített palmerit és variscit-barrandit-

strengit izomorf sorozat vegyületei formájában történhet. Az ilyen kristályos megkötődési termékeknek a talajban való kimutatása rendkívül kis méreteik miatt nehézségekbe ütközik”. De azért Haseman és társai is azon a véleményen vannak, hogy kezdeti állapotában a reakció „ PO_4 -ionoknak felszíni Al- és Fe-ionokkal való egyesülése, ezek az ionok a rács szélén vannak, vagy pedig kicserélhető kapcsolódás áll be mind az agyagokon, mind a hidrált Al- és vas-oxidokon. Az utóbbi állapot az oldhatóság fokozatos csökkenésével jár kikristályosodás és utólagos dehidratáció következtében és a palmerithez, variscithez vagy strengithez hasonló ásványok keletkeznek”.

Kurtz [32] a kicsapódási elmélettel kapcsolatosan rámutat arra, hogy az elmélet feltételezi azt, miszerint a kicsapó ionok a talajoldatban jelen vannak s az oldatból a hozzáadott PO_4 -ionoknak megfelelő mértékben tűnnek el. Az ilyen közvetlen összefüggés egy olyan összetett rendszerben, amilyen a talaj, nagyon nehezen mutatható ki. Általában, kivéve a nagyon savanyú talajokat, a Fe, Al és Mn-ionok koncentrációja nagyon kicsi és csak nagyon kevés foszfátion megkötését okozhatja”.

A talaj részecskéi és a foszfátionok közt végbemenő reakciók természetét még további vizsgálatokat igényel. Kétségtelenül többféle folyamat megy végbe, ún. adszorpciós folyamatok és anioncsere. Az anioncsereit illetőleg kimutatták, hogy a hidrált szeszkvioxidok PO_4 -ionokat vehetnek fel ekvivalens OH-ionok felszabadulásával. Ha ez a folyamat korlátozott terjedelmű, csak felszíni OH-t érint, adszorpciós folyamatnak tekinthető. Töményebb oldatok és hosszabb időtartam erősebb reakciót okozhatnak és hidrált vas- vagy alumínium-foszfát csapadék keletkezik. Low és Black [35] a kaolinitnak foszfátokkal való reakcióit tanulmányozva arra a következtetésre jutottak, hogy tömény oldatban a kaolinit foszfátolízisét — a foszfát által való elbontását — megelőzi az oldatban levő foszfát kicserélődése a rács külső részének szilikát-ionjaival, a cserét a rács felbomlása és egy Al-foszfát vegyület kicsapódása követi. Híg oldatban a foszfát megkötés a Freundlich-féle izotermának hódolt s növekedett a hőmérséklettel. Miután a reakcióban szereplő PO_4 mennyisége kevés volt a felszabadult kavasav mennyiségéhez viszonyítva, az a következtetés kínálkozik, hogy a híg oldatban való reakció más természetű, valószínűleg a felszíni hidroxil csoportok helyettesítése foszfátgyökökkel.”

Struthers és Sieling [46], valamint Dalton és társai [11] az anionok hatását tanulmányozták a szeszkvioxidfoszfát csapadékok oldódására vagy a csapadékok keletkezésének megakadályozására, s azt találták, hogy az anionok oldó képessége szorosan összefügg azzal a képességükkel, hogy vassal és alumíniummal komplex vegyületet képeznek.

A talajba adott foszfátok reakcióit a talaj alkotórészeivel számos változó körülmény befolyásolja, ún. az oldatban levő foszfátion koncentrációja, a reakció időtartama, a hőmérséklet, az oldat reakciószáma (pH-érték), az ásványos alkotórész típusa, a részecskék nagysága, a kicserélhető kationok és a sók hatása.

Az általunk tekintetbe vett időszak alatt a hőmérséklet hatásáról közölt adatokat Low és Black [35], akik kaolinnal végbemenő reakciókkal kapcsolatban kimutatták, hogy a reakció fokozódik a hőmérséklettel, de természetesen nem változik. Bass és Sieling [2] magasabb hőmérsékletet alkalmaztak, hogy meggyorsítsák a talaj foszfátmegkötő-képességének meghatározására használt reakciót.

Az ásvány típusát illetően Chatterjee és Daka [10] indiai kutatók közöltek adatokat s rámutattak a kaolinit nagy elnyelő képességére a montmorillonittal szemben.

A sók hatásáról Low és Black [35], továbbá Lehrs és Wesemael [34] közöltek adatokat. Ezek szerint a sók általában növelik a foszforelnyelést. Wild [54] pedig kimutatta, hogy a KCl és NaCl a foszfor elnyelését növeli pH 6 és 7 között, pH 6,3 alatt azonban hatásuk csekély.

Az a kérdés, hogy a növények milyen mértékben képesek felhasználni a különböző vegyületeket, amelyekről feltételezik hogy a foszfát megkötési reakciók folyamán létrejönnek, számos kutatót foglalkoztatott már régebben. A vizsgálatok eltérő eredményeket adtak.

Daltón és társai [11] kukoricával homok-tenyésztetekben végzett kísérletekről számolnak be, ezek szerint — az oldható foszfáthoz viszonyítva — frissen kicsapott vas- és alumínium-foszfáttal a termés csak 15% volt. A vas- és alumíniumfoszfátok alkalmazása esetén kapott változó eredmények részben megmagyarázhatók Fujiwara 1950-ben közölt dolgozata alapján, aki általános érvényű tételként állapítja meg, hogy a kristályosodás foka mind a természetes, mind a mesterséges vas- és alumínium-foszfátok oldhatóságát befolyásolja, és hogy a frissen készített anyagok oldhatósága idővel csökken, bár minden elővigyázatot megtettek arra, hogy a dehidratációt megakadályozzák. Kurz [32] a foszfát megkötésnek a talaj termékenységére való jelentőségéről írott cikkében rámutat arra, hogy a két évtizeddel előbb általánosan elfogadott nézettel ellentétben az újabb bizonyítékok amellet szólnak, hogy a foszfátoknak a talajban végbemenő reakciói nem egészen „meg nem fordíthatók” és hogy sok talajnál a „megkötés” kifejezés túlzás.

Az a nézet, hogy a talajhoz adott foszfát gyorsan átváltozik olyan alakúvá, amelyet a növény nem tud felhasználni, különböző megfigyelésekből alakult ki, nevezetesen a növény a hozzáadott foszfátnak csak egy részét veszi fel, bizonyos talajokon a hozzáadott foszfát hatástalannak bizonyul, továbbá, hogy a hozzáadott foszfát nem oldódott fel azokban a kivonó-

szerekben, amelyek a felvehetőnek mondott foszforsav meghatározására szolgálnak.

Bizonyítékok halmazódtak fel, hogy a frissen a talajhoz adott foszfát csak egy részét szolgáltatja a növény által felvett foszfátnak és hogy az első termés által fel nem vett résznek határozott maradékértéke van (Volk [53]), még ha évente kismennyiségű foszfátot alkalmazni is kell, hogy bizonyos növényekből az elérhető legnagyobb termést kapjuk. A hozzáadott foszfát kis érvényesülése, melyet régebben a foszfátmegkötésnek tulajdonítottak, gyakran más okra vezethető vissza. Scarseth és Chandler [44], továbbá Ensminger és Cope [16] teljes elemzéseket végeztek olyan talajokkal, amelyek nagy adag foszfátot kaptak s azt találták, hogy a megkötöttnek vélt foszfát nem volt meg a talajban, elvitte az erózió.

A hozzáadott foszfátot nem lehet a növényekre értéktelennek tekinteni csak azért, mert nem oldódik könnyen vegyi oldószerekben. A legtöbb gyors kivonási eljárással nyert foszfát egyensúlyi érték s nem teljes mértéke az oldószerrel kivonható foszfátnak. Coleman [9] jó növényi tenyészetet kapott montmorillonitos és kaolinitos agyagokon, melyeket vízzel, illetőleg híg salétromsavval, vagy híg nátronlúggal vagy pH 3-ra tompított híg kénsavval vont ki. Coleman következtetése az, hogy az a körülmény, miszerint a növény nem érezte meg a hozzáadott foszfátot, amit gyakran a foszfátnak a talaj által való gyors megkötésének tulajdonítottak, sokszor annak tulajdonítható, hogy a talajban máris elég foszfor volt.

Összefoglalva a mai álláspont az, hogy savanyú és közömbös talajokban a foszfátok gyorsan abszorbeált alakba mennek át, melyet a legtöbb növény képes felhasználni. Idővel ez a kezdeti alak fokozatosan kevésbé oldható alakba megy át, s ez kevésbé felvehető. Az átalakulás időtartama a fennforgó koncentrációktól és a talaj foszforállapotától függ, de rendszerint több hónapig tart.

Szerves anyaghoz kötött foszfát

A talajban levő foszfátnak egy része szerves anyaghoz van kötve. Az utóbbi években számos dolgozat jelent meg, mely a szerves anyaghoz kötött foszfát mennyiségi megoszlásával foglalkozik. A szerves foszfáthoz viszonyítva a szerves foszfát mennyisége 2,6%-tól 75%-ig váltakozhat, ezek a szélsőséges értékek indiai talajokra vonatkoznak. Jellegetesen a szerves anyaghoz kötött foszfor a talajban a szerves karbonium $\frac{1}{2}$ ill. 2%-a. A szerves foszfornak a talajszelvényben való megoszlása is több dolgot tárgyal képezi, ezek azt mutatják, hogy a szerves anyaghoz kötött foszfor általában fokozatosan csökken a mélység felé, kivéve az olyan talajokban, amelyekben kifejezett szintbeli különbségek vannak, vagy jelenkori üledékekből keletkeztek. Ilyenkor szabálytalanságok

észlelhetők. A legfelső szint sokszor háromszáznégyszáz milligramm pro kg-nál több szerves foszfort is tartalmazhat, egy méter mélységben ritkán több 30 mg pro kg-nál.

Az agrokémikus szempontjából érdekes az a kérdés, hogyan válik a szerves anyaghoz kötött foszfor olyan alakúvá, amelyet a növények felvehetnek. A szerves foszfátot általában a növények közvetlenül nem értékesítik, annak előbb szervesetlen alakba kell átmennie, hogy felvehető legyen. A szervesetlen alakba való átmenet biológiai folyamatok eredménye. A foszfortartalmú szerves vegyületek mikrobás elbontásánál a szerves anyaghoz kötött foszfát felszabadul, ásványosul, hasonlóképpen, mint a szerves anyaghoz kötött nitrogén. A szerves anyaghoz kötött nitrogén ásványosulása és a foszfát ásványosulása közt messzemenő hasonlatosság áll fenn. Thompson, Black és Zoellner [50.] kimutatják, hogy a szerves foszfor mennyisége és a szerves foszfor ásványosulása a talajban levő szerves karbonium és nitrogén mennyiségével szoros összefüggést mutat. Kísérleteikben a szerves foszfor ásványosulása pozitív korrelációban volt a szerves karbonium és nitrogén ásványosulásával. Az ásványosult szerves foszfor, nitrogén és karbonium mennyisége nagyjából megfelelt annak az aránynak, amelyben az egyes alkotórészek a talaj szerves anyagában előfordulnak. Ezek az adatok újabb bizonyítékai annak, hogy a szerves foszfor viselkedése a szerves anyagnak, mint egésznek, viselkedésével függ össze.

Ugyancsak Thompson, Black és Zoellner vizsgálatai azonban rámutatnak arra, hogy bizonyos különbségek is vannak a karbonium és a nitrogén, másrészt a foszfor viselkedésében. Ezek a szerzők 50 nem meszeztett talaj esetében azt találták, hogy a szerves foszfor ásványosulása jelentősen növekedett a pH növekedésével, de a szerves karbonium és nitrogéné nem.

A szerves foszfor ásványosulását befolyásolják ama tényezők, amelyek a szerves anyag elbontását végző aprólények tevékenységét befolyásolják. Ilyen tényező a hőmérséklet. Thompson és Black [49] (1948), valamint Bower [7] továbbá Thompson [48] kimutatták, hogy az ásványosulás a hőmérséklettel fokozódik, különösen 25 vagy 30 fok fölött.

A talajhoz adott szerves anyag természete befolyásolja a szerves foszfor ásványosulását. Ha a talajban szervesetlen foszfort nem tartalmazó szerves anyag bomlik el, a talaj szervesetlen foszfortartalmára gyakorolt hatás bizonyos mértékig a talajba juttatott anyag szerves foszfortartalmától függ. Ásványosulás következik be olyan anyagokkal, amelyeknek szárazlékos szerves foszfortartalma nagy, míg megkötés áll be, ha a foszfortartalom kicsiny, vagy a szerves anyag foszfort nem tartalmaz. Ezt az elmúlt évtizedben számos kutató állapította meg.

A kérdés gyakorlati jelentősége a kis és nagy foszfortartalom szélsőséges értékei közt van. A kérdés tisztázásához a 40-es évek végén többek között, különösen Kaila [28, 29, 30] finn kutató vizsgálatai járultak hozzá. Adatai összehasonlításából kitűnik, hogy ha különböző szerves anyagok egy hónapig, vagy esetleg rövidebb ideig egy kevert mikroflóra hatására elbomlottak, a szerves anyag kezdeti ásványosulása következett be, ha a szerves anyag 0,15–0,78% szerves foszfort tartalmazott; míg kezdeti megkötés volt észlelhető, ha a szerves anyag foszfortartalma 0,25%-nál kevesebb volt. Ha feltételezzük, hogy a szerves anyag karboniumtartalma 45% volt, ezek az adatok azt mutatják, hogy kezdeti ásványosulás áll be, ha a szerves karbonium és a szerves foszfor aránya kisebb 200-nál, míg kezdeti megkötés történik, ha ez az arány 300 fölött van. Ezeknek az adatoknak ismeretében arra következtethetünk, hogy foszformegkötés következik be rendszerint, ha a talajba szalmát vagy zöldtrágyát adunk, míg állati trágyánál ásványosulás várható.

Black és Goring [5] rámutatnak arra, hogy mielőtt ezeket az eredményeket a foszfornek a növény által való felhasználhatósága szempontjából értékelhetnénk, két további tényezőt kell tekintetbe venni.

Először, a közönségesen a talajhoz adott szerves anyag átlagban mintegy ugyanannyi szervesetlen foszfort is tartalmaz, mint szerveset. Ha megkötés történik, a mikrobák az elbomló anyag szervesetlen foszforából meríthetnek. Miután a megvizsgált esetek nagyobb részében a szervesetlen foszfornek kevesebb, mint a fele lett megkötve szerves foszfor alakjában, az összes foszfor tekintélyes része még mindig szervesetlen alakban volt jelen. Ennek a szervesetlen foszfornak a jelentősége a növények számára azonban nem ítéltető meg a kémiai bizonyosságból, miután az utóbbi nem tesz különbséget mikrobás és nem mikrobás szervesetlen foszfor közt. Akár szerves, akár szervesetlen a mikrobás szövetekben levő foszfor, valószínűleg megkötött állapotban van a növények szempontjából.

Másodszor, a szerves karbonium és foszfor arány kritikus értéke, amely megállapítja azt, hogy ásványosulás vagy megkötés történik-e, a gyakorlatban nagyobb lehet, mint laboratóriumi kísérletekben. Az a szokás, hogy laboratóriumi kísérletekben nitrogént adnak a nitrogénben szegény anyagokhoz, csökkentheti a karbonium és szerves foszfor arányt egy bizonyos anyagban; olyan anyagokban, amelyekben normális korreláció van a nitrogén és a szerves foszfor közt, a karbonium és szerves foszfor arány kritikus szélességét csökkentenie kell. Ez a feltevés némi megerősítést nyer Fuller és Rogers [19] munkájából, de további bizonyítékok is szükségesek.

A szántóföldi viszonyokra alkalmazva az ismertetett rövid ideig folytatott kísérletek

eredményeit, figyelembe kell vennünk azt, hogy a növények hosszabb ideig foglalják el a talajt, több hónapig, esetleg egy évig a szerves anyag hozzáadása után. Ezenkívül, a szerves anyag összes hatása a foszforkészletre nemcsak a legutóbbi hozzáadás hozzájárulásában áll, hanem a korábbi hozzáadások ki nem merített maradékhatásában is. Damsgaard—Sørensen [12] és Korableva [31] istállótrágyával végzett szabadföldi kísérletei azt bizonyítják, hogy a talajba adott szerves foszfor nagy része ásványosodik, ezáltal a talaj szerves foszfortartalma növekszik.

Sok kísérlet igazolta, hogy a növényeknek tápoldatban, homoktenyészetekben vagy talajokban szerves alakban adott foszfort a növények többé-kevésbé felhasználni képesek, de aránylag kevés kísérletet végeztek a talaj szerves foszforával eredeti állapotában. Az első ilyen kísérletet Vincent [51] végezte 1937-ben, s azt találta, hogy a növények tenyésztése alatt mind a két %-os citromsavban oldható foszfor, mind a talajban levő szerves foszfor mennyisége csökkent.

Chirikov és Volkova [10/a] a talaj összes foszfortartalmát 5 csoportba választották szét, a vegyi kivonószerekben való oldhatóságuk alapján, s az egyes részleteket osztályozták a szerint, hogy a rajtuk természetesen növények milyen mértékben használták fel azokat. A nátronlúgban oldható rész, ez a talaj szerves foszfortartalmának legnagyobb részét tartalmazta, értéktelennek bizonyult. Hasonló kísérletet végzett Williams Ausztráliában 1950-ben 5 talajban. Kísérletei eredménye az volt, hogy jelentős összefüggés mutatkozott a talajból elkülönített részletek foszfortartalma és a búza foszfortartalma közt az ecetsavban oldható és a lúgban oldható szerves részletek esetében, a szerves részlet esetében azonban nem. Ezek a kísérletek bizonyítják, hogy a talajban levő foszforoknak a növény által való felvehetősége elsősorban a talaj szerves foszforállapotától függ, s a szerves foszforoknak kevés vagy semmi jelentősége nincs.

A kérdést Eid, Black és Kempthorne [14—15] tovább vizsgálta. Három kísérletről számolnak be, ezekben a foszfor felvehetőségét, amit tenyészkeskísérlettel állapítottak meg, többszörös regressziós számítással az alábbi négy foszforrészlettel hozták összefüggésbe: 1. híg ammoniumfluoridsavas kivonószerekkel kivonható ún. felvehető szerves foszfor; 2. az 1%-os káliumkarbonátban oldható és hipobromittal defoszforizált szerves foszfor; 3. az 1%-os káliumkarbonát oldatban oldható, de hipobromittal nem defoszforizálható szerves foszfor; és 4. a káliumkarbonáttal ki nem vonható, de Pearsonnak az összes foszfor kivonására kidolgozott módszerével kivont foszfor. Két kísérletben a növényeket 20 és 35 fok C-n tenyésztették. A harmadik és negyedik részlettel végzett növénytermesztési kísérletek egyik esetben sem adtak jelentős eredményt, 20 fok-

nál a második részlettel sem kaptak jelentős eredményt, ennél a hőmérsékletnél a felvehető foszfor teljesen a szerves részlettel függött. 35 foknál ellenben a második számú részlet jelentős eredményt adott a felvehető foszfor előrevaló megállapításánál, függetlenül az első részlettel, de az első — a szerves részlet — nem adott jelentős eredményt a második számú szerves foszforrészlettel függetlenül. Harmadik kísérletüket a szerzők hasonló módon végezték azzal a különbséggel, hogy a talajokat nedves állapotban inkubálva tartották a tenyészkeskísérlet előtt, s a növekedés tartama alatt a talaj hőmérséklete az üvegház hőmérsékletével együtt ingadozott. Ebben a kísérletben a különböző kezeléseknél nem volt jelentős hatásuk a növény által felvehető foszforra. A második számú szerves foszforrészlet jelentős független értékkel bírt a felvehető foszfor előre való megállapításánál, a szerves foszforrészlet — az első számú részlet — azonban nem.

Mind a három kísérlet eredménye arra szólított, hogy igazolja a feltevést, mely szerint a talaj szerves foszforának jelentősége lehet a növény foszforral való táplálkozásában. A kísérletekből a szerzők arra következtettek, hogy a talajban levő szerves foszfor magában kevés vagy semmi értékkel sem bír a növény foszforral való táplálkozásánál, s csak akkor válik értékké, ha szerves foszforrá alakul át. Miután a szerves foszfor ásványosulása 35 foknál sokszorosan gyorsabban történik, mint 20 foknál, az eredmények a szerves foszforok magas hőmérsékleten jóval nagyobb mértékben végbe menő ásványosulásával magyarázhatók. A harmadik kísérlet eredményei pedig arra mutatnak, hogy a növénynek jelen kell lennie, mialatt az ásványosulás megtörténik, hogy hasznát lássa a külön foszforforrásnak, máskülönben az ásványosult foszfát a talaj szerves foszforával egyensúlyba kerül és külön értéke elvesz.

A kérdést tovább vizsgálta Goring [21], aki módosította Fried és Dean [18] izotóp hígítási módszerét úgy, hogy azzal képes volt megállapítani a talaj apró szervezetei részére felvehető talajfoszfort. Ezzel az eljárással Goring és Zoellner 1953-ban azt találta, hogy a mikrobák által hasznosítható foszfor egy részt a híg ammoniumfluorid és sósavból álló oldószerekkel kivonható szerves foszforból, másrészt a mikrobák által szintetizált szerves foszfor netto mennyiségétől függ. Az utóbbiról pedig feltételezik, hogy az ásványosult szerves foszfor mennyiségével függ össze s jelentőségét ettől az összefüggéstől nyeri.

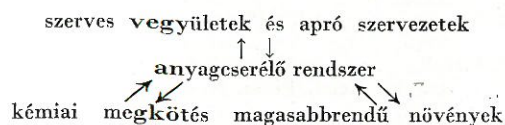
1955-ben megjelent három dolgozatában Goring [22] tovább foglalkozik a foszforoknak a talajban végbemenő biológiai átalakulásának kérdésével s beszámol a sugárzó foszforizotópos módszerével kapott újabb eredményeiről. Ezek azt mutatják, hogy a szerves foszfor szintézise, mint a többi hasonló biológiai folyamat, számos kémiai, fizikai és biológiai tényezőtől függ. A kísérlet körülményei közt a szerves foszfor szín-

tézise egyes esetekben aránylag nagy volt, két esetben meghaladta a 6 mg pro kg-ot egy hét alatt. A biológiai foszfor átalakulásának ez a kivételesen nagy mértéke azonban valószínűleg csak időleges és nem jellemző a hosszabb időn át tartó viselkedésre. A szintézis mértéke idővel erősen csökken; két mintánál az egy hét alatt szintetizált szerves foszfornak több mint a fele az első napon jött létre, s a 30 nap alatt szintetizált foszfornak több mint a fele az első hét napon. Mindenesetre jelentősége lehet annak, hogy nagyfokú biológiai foszforátalakulás mehet végbe, még ha csak rövid időre is, s hogy az olyan kezelés, mint szárítás és újból való megnedvesítés, gyorsítja a menetet. A folyamatban szereplő foszformennyiségek lényegesen nagyobbak a növény által felvett mennyiségeknél.

Goring izotópos módszerrel a talaj apró szervezetei által felvehető foszfor meghatározására is alkalmazta, s nagyobb számú talajjal végzett kísérletei alapján arra a következtetésre jutott, hogy az apró szervezetek által felvehető foszfor jelentős összefüggésben van a híg ammonium-fluoridos és sósavas oldószerrel kivonható szervetlen foszforral és a szintetizált szervesfoszforral. A szintetizált szerves foszfor mennyisége jelentős volt a talaj apró szervezetei által felvehető foszfor előrejelzésénél, de nem volt jelentős a magasabb növények által felvehető foszfornak előre való megállapításánál. A talaj apró szervezetei nagyobb mértékben használták fel a foszfort mint a növények; ezt a különbséget úgy lehet magyarázni, hogy az aprószervezetek jóval közelebb vannak az ásványosult foszforhoz, mint a magasabbrendű növények, mind a folyamatot, mind a helyzetüket tekintve.

Az ismertetett vizsgálatok alapján kétségtelenül megállapítható, hogy a szerves kötési foszforvegyületeknek a növények foszforral való ellátásánál szerepük van s részt vesznek a foszforvegyületek körforgásában.

Befejezésül megemlítem még, hogy Johnson és Broadbent [27] a talaj foszforvegyületei körforgalmát úgy képzelik el, hogy a szerves kötési foszforvegyületekből és apró szervezetekből egy anyagcserélő rendszer veszi fel az ásványosult foszfort. Ebből a forrásból táplálkoznak a magasabbrendű növények, innen veszik fel a foszfort azok a vegyületek is, amelyek kémiaiilag kötik meg a foszfátot. A középén álló anyagcserélő rendszernek mind a három csoport felől reverzibilis a tevékenysége, egyidejűleg egymással párhuzamosan történik a foszforvegyületek felvétele és leadása az alábbi módon:



A körülményektől függ, hogy adott esetben a rendszer milyen irányban működik.

Ezzel irodalmi szemlénk végére értem. Szemlénkben a sokoldalú foszforkérdésnek csak néhány, nem éppen a legkevésbé érdekes vonatkozását vehettük szemügyre. A legutóbbi évek kutatásaiából megállapíthatjuk, hogy az a kép, melyet a foszforkérdésnek ma tárgyalt vonatkozásairól a régebbi talajkutatók és agrokémikusok készítettek el századunk első emberöltőjében, helyesen — ha részleteiben hiányosan is — tüntette fel a fennálló viszonyokat. Az utóbbi években végzett vizsgálatok számos részletkérdésre vetettek fényt. Látóhatárunk megnövekedett; messzebb látunk, mint azok, akiknek vállán állunk, mondotta Goethe.

BALLENEGGER RÓBERT

Érkezett: 1956. június 10

Irodalom

- [1] Barbier, G. & Tyskievitz, E.: Trans. Int. Soc. Soil Sci. Comm. II. & IV. Dublin. 2. 1952.
- [2] Bass, G. B. & Sieling, D. H.: Soil Sci. 69. 269. 1950.
- [3] Bingham, F. T.: Ph. D. Thesis, Univ. California. Berkeley. 1951.
- [4] Bjerrum, N.: 1936, Selected papers edit. by Friends & co-workers. Copenhagen. 1949.
- [5] Black, C. A. & Goring, C. A. J.: Agronomy. A Series of Monographs. Acad. Press New York. IV. 123. 1953.
- [6] Boisshot, P., Coppent, M. & Hébert, J.: Plant and Soil. 2. 311. 1950.
- [7] Bower, C. A.: Iowa Agr. Expt. Sta. Res. Bull. 362. 1949.
- [8] Cole, C. V. & Jackson, M. L.: Journ. Phys. & Coll. Chemistry. 54. 128. 1952.
- [9] Coleman, R.: Soil Sci. Soc. Am. Proc. 7. 134. 1942.
- [10] Chatterjee, B. & Daka, S.: J. Soil Sci. 2. 229. 1951.
- [10a] Chirokov, F. V. & Volkova, V. V.: Vestnik Udob. Agrotechn. Agropochvoned. 3. 115. 1941.
- [11] Dalton, J. D., Russel, I. C. & Sieling, D. H.: Soil Sci. 73. 173. 1952.
- [12] Damsgaard-Soerensen, P.: Tidskr. Planterevl. 50. 653. 1946.
- [13] Dean, L. H. & Fried, M.: Agronomy. A Series of Monographs. Acad. Press New York. IV. 43. 1952.
- [14] Eid, N. T., Black, C. A. & Kempthorne, O.: Soil Sci. 71. 361. 1951.

- [15] *Eid, M. T., Black, C. A. & Kempthorne, O.* : Iowa Agr. Exp. Sta. Bull. Ames. Iowa. 1953.
- [16] *Ensminger, L. E. & Cope, J. T.* : J. Amer. Soc. Agron. **39**. 1. 1947.
- [17] *Finály, I.* : Agrokémia és Talajt. **2**. 81. 1953.
- [18] *Fried, M. & Dean, L. A.* : Soil Sci. **73**. 263. 1952.
- [19] *Fuller, W. H. & Rogers, R. N.* : Arizona Agr. Exp. Sta. Techn. Bull. 123. 1951.
- [20] *Gerretsen, F. C.* : Plant and Soil. **1**. 51. 1948.
- [21] *Goring, C. A. J.* : Plant and Soil, **6**. 17. 1955.
- [22] *Goring, C. A. J.* : Plant and Soil. **6**. 26. 1955.
- [23] *Hall, .* : Agronomy. A Series of Monographs. Acad. Press. New York. IV. 91, 1952.
- [24] *Haseman, J. F., Brown, E. H., Whitt, C. D.* : Soil Sci. **70**. 257. 1950.
- [25] *Hoagland, D. R. & Martin, I. C.* : Soil Sci. **16**. 366. 1923.
- [26] *Jenny, H. & Overstreet, R.* : Soil Sci. **47**. 257. 1939.
- [27] *Johnson, D. D. & Broadbent, F. E.* : Proc. Soil Sci. Soc. Amer. **16**. 56. 1952.
- [28] *Kaila, A.* : Vaaltion Maatalouskoetriminnam Julkaiswja, No. 129. 1948.
- [29] *Kaila, A.* : Mastatoloustietsellinen Aika-kauskerja **21**. 67. 1949.
- [30] *Kaila, A.* : Soil Sci. **68**. 271. 1949.
- [31] *Korableva, L. J.* : Poesvovegyenye. 100-114. 1951.
- [32] *Kurtz, L. T.* : Agronomy. A Series of Monographs. Acad. Press New York. IV. 59. 1953.
- [33] *Larsen, S.* : Plant and Soil **4**. 1. 1952.
- [34] *Lehr, J. J. & Wesemael, J. C.* : J. Soil Sci. **3**. 125. 1952.
- [35] *Low, P. F. & Black, C. A.* : Soil Sci. **70**. 273. 1950.
- [36] *Mattson, S., Koutlev-Andersson, E., Miller, R. B. & Vathra* : Ann. Roy. Agr. Coll. Sweden. **18**. 128. 1951.
- [37] *McAuliffe & all* : Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **12**. 129. 1947.
- [38] *Olsen, S. R.* : J. Phys. Chem. **56**. 630. 1952.
- [39] *Olsen, S. R.* : Agronomy. A series of Monographs. Acad. Press New York. IV. 89. 1953.
- [40] *Overstreet, R. & Dean, L. A.* : cf. Mineral Nutrition of Plants 79-105, Madison, Wisc. 1951.
- [41] *Parker, F. W. & Pierre, W. H.* : Soil Sci. **25**. 337. 1928.
- [42] *Pikovskaya, R. J.* : Mikrobiologija (SSSR), **17**. 362. 1948.
- [43] *Russel, E. W.* : Soil conditions and plant growth, ed. VIII. Longmans. London. 1950.
- [44] *Scarseth, D. G. & Chandler, W. V.* : J. Am. Soc. Agron. **30**. 361. 1938.
- [45] *Schloesing, Th.* : C. R. Acad. Sci. Paris. **70**. 98. 1870.
- [46] *Struthers, P. H. & Sieling, D. H.* : Soil Sci. **69**. 205. 1950.
- [47] *Tidmore, I. W.* : Soil Sci. **30**. 13. 1930.
- [48] *Thompson, L. M.* : Phil. Doct. Thesis Iowa State Coll. Ames. Iowfi. 1950.
- [49] *Thompson, L. M. & Black, C. A.* : Soil Sci. Soc. Am. Proc. **12**. 323. 1948.
- [50] *Thompson, L. M., Black, C. A. & Zoellner, J. A.* : Soil Sci. **77**. 185. 1954.
- [51] *Vincent, V.* : Rapport Ann. Stations Agronomiques, **11**. 38. 1938.
- [52] *Volk, G. W.* : J. Am. Soc. Agron. **37**. 330. 1945.
- [53] *Wiklander, L.* : Ann. Roy. Agr. Coll. Swedeni. **17**. 407. 1950.
- [54] *Wild, A.* : Trans. 4th Int. Congr. Soil Sci. **1**. 146. 1950.